# Le cyanomètre

Anne Fauche

## Construire un instrument de mesure

La plupart des instruments de mesure sont des objets dont la fabrication requiert aussi bien des matériaux qu'un savoir-faire exceptionnels pour qu'ils puissent donner des résultats significatifs. Leur construction en classe peut donc être source de frustration pour les élèves.

Il n'en va pas de même en ce qui concerne le cyanomètre. Le matériel nécessaire se limite à des cartons blancs, des papiers de différentes teintes de bleu, de la peinture pouvant donner différents tons de bleu clair. On peut ainsi se concentrer avec les élèves sur la problématique de l'instrument de mesure.

### Une démarche à découvrir par soi-même

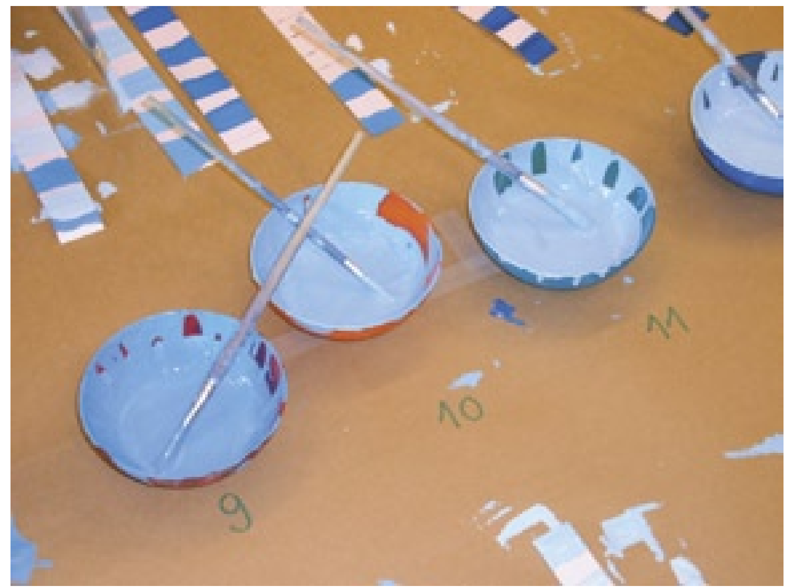
Pour que la construction de l'instrument soit intéressante du point de vue pédagogique, il est bon de ne pas tout révéler d'emblée. Ainsi, il est judicieux que l'enseignant ne montre pas aux élèves l'image du cyanomètre et qu'il ne leur donne que très peu de détails : pas d'indications sur la disposition relative des bleus, ni sur le fait qu'ils soient numérotés. Il suffit de les mettre en situation, de bien définir l'objectif recherché et de mettre à leur disposition un matériel de base. Les élèves pourront alors trouver par eux-mêmes une manière optimale de fabriquer l'instrument au gré des différents obstacles rencontrés et résolus au fur et à mesure de l'élaboration. Cela leur demandera un peu de temps et de réflexion, une suite d'essais et de propositions, une double interaction, avec l'enseignant et entre eux.

### Une initiation à la problématique de la mesure

On peut commencer par faire réfléchir la classe sur des prototypes, à l'aide de petits papiers de différents bleus à disposer sur un carton blanc. Différentes questions se poseront alors.

Comment placer ces papiers de couleur ? Si l'on choisit le centre, il faudra évider un espace à côté de chacun d'eux pour que le ciel leur soit juxtaposé lors de la mesure. Le plus souvent, après un certain nombre de manipulations, quelques élèves ont l'idée de les coller au bord, ce qui évite de découper des plages intérieures et permet une mesure directe.

Comment s'y prendre pour que les mesures soient communicables pour une comparaison ultérieure ? Une mise en situation imaginaire mais réaliste parle bien aux élèves : « Vous êtes dans des stations de ski différentes, vous vous appelez chaque soir pour vous communiquer les observations de la journée. Comment faites-vous ? » Les réponses commencent par des propositions




**Deux étapes de la fabrication du cyanomètre.** À gauche, les godets soigneusement numérotés de différentes nuances de bleus, où chacun viendra à son tour se servir. Ci-dessous, le cyanomètre est quasiment fabriqué, l'une des dernières étapes consiste à reporter lisiblement les numéros en face des plages correspondantes.
Classe de CP de Tatiana Ducraux, école Liotard, Genève. Photo: N. Kramar.




vagues, du type : « Je leur dis… bleu assez foncé, bleu… euh… » dont les élèves comprennent vite qu'elles ne sont pas opérationnelles. Puis on passe par : « Je donne des chiffres, le bleu du milieu sera le zéro, les foncés positifs et les autres négatifs » ou : « Je donne des lettres… en fait c'est comme un code… » jusqu'à dégager un consensus : « Mais nous devons tous prendre le même code ! » pour finir le plus souvent par : « Les chiffres, c'est encore ce qu'il y a de plus commode ! »

Pas à pas, l'étalonnage de l'instrument de mesure aura été réinventé. Si l'on choisit ce moment pour montrer l'image de l'original, le plaisir suscité chez les élèves est toujours intense : ils se sont vraiment approprié la démarche d'élaboration de l'instrument. Les expériences menées en classe indiquent que chez les élèves, l'approche d'autres instruments de mesure s'en trouve renouvelée : la « boîte noire » que constituent ordinairement ces derniers devient plus « transparente ». Les choix qui ont prévalu à leur élaboration apparaissent plus acces-

sibles et la problématique de la mesure prend véritablement sens.

Deux exemples sont sur ce point significatifs. Les thermomètres sont aujourd'hui gradués en degrés Celsius (parfois encore en degrés Fahrenheit), mais au XVIII$^{e}$ siècle encore, les savants utilisaient différentes graduations selon les régions ou les sphères d'influence. Ils devaient donc adjoindre une table d'équivalence lorsqu'ils communiquaient leurs mesures à leurs collègues. Quant aux mesures de longueur utilisées aujourd'hui par tous les scientifiques, elles sont issues du système métrique décimal instauré par les Français à la suite de la Révolution. Auparavant, elles se faisaient à partir de divers étalons, comme les toises, les pieds, les pouces ou les lignes. Comme ces étalons variaient selon les pays et même selon les régions, cela compliquait considérablement les discussions ! L'utilisation persistante des mesures anglo-saxonnes, qui restent usitées dans le domaine courant, a joué un vilain tour à la Nasa : une sonde s'est écrasée sur Mars à cause de la traduction erronée des distances (et donc des vitesses d'arrivée) dans le système international d'unités…

On pourra fabriquer enfin, selon le consensus qui se sera dégagé de la classe et le choix de l'enseignant, un cyanomètre ressemblant soit à celui de 1787, soit à celui de 1788. Dans tous les cas, il faudra prendre garde au fait que les bleus du ciel sont toujours plus clairs qu'on ne l'imagine, surtout en plaine !

**Un espace d'invention proposé aux élèves**

Les travaux menés dans les classes montrent que les réflexions et propositions des élèves rejoignent les évolutions historiques. Ainsi Horace- Benedict de Saussure fit lui-même évoluer son cyanomètre entre 1787 (celui qu'il utilisa au sommet du mont Blanc comportait seize nuances de bleu, numérotées du plus foncé au plus clair) et 1788 (col du Géant). Il ne peignit plus directement sur le carton mais découpa et colla des papiers déjà peints à l'avance, ce qui permettait une reproduction plus fiable. Il multiplia aussi les plages de bleu pour améliorer la précision quant à la nuance à mesurer (les mesures de 1787 donnaient des nuances tombant « entre deux »). Il numérota par ailleurs les nuances dans le sens inverse, le n° 1 partant cette fois du plus clair pour des raisons qu'il n'a pas indiquées ! Enfin, il les plaça au bord d'un carton rond, ce qui lui évitait le découpage intérieur auquel il avait dû procéder avec le rectangle initial.

Les élèves sont à la fois surpris et heureux d'apprendre qu'un scientifique pionnier dans son domaine ait pu ainsi tâtonner et modifier progressivement son instrument. Cela valorise leur démarche, leur donne confiance en leurs propres capacités d'invention et entretient leur motivation. Si l'enseignant est prêt à « jouer le jeu », à offrir un espace d'invention à ses élèves et à les laisser élaborer leurs propres prototypes, il ne dévoilera pas trop vite la forme prise par les cyanomètres historiques : ceux-ci auront une valeur indicative et non pas définitive. Cela sous-entend cependant que les pistes choisies soient discutées, explorées et argumentées. Le type de cyanomètre construit pourra alors ressembler à l'un de ceux d'Horace Benedict de Saussure, mais tout aussi bien avoir une forme originale.

## Utiliser le cyanomètre

### Mesurer sur le terrain : le « mode d'emploi » de l'instrument

Le cyanomètre est relativement simple en lui-même. Mais contrairement à un instrument « fini », sorte de « boîte noire » où tout a déjà été pensé et qui n'appelle qu'une lecture passive, il implique de définir le protocole relatif à son utilisation, son « mode d'emploi ». Or son inventeur n'a donné que peu d'indications à ce sujet. Il parle d'observations faites au « midi du soleil » et il mentionne le « Zénith », c'est-à-dire la verticale du lieu. On peut dire du cyanomètre que c'est encore un prototype, et cela constitue aussi une chance pour les élèves : ils peuvent jubiler dans cet espace peu exploré, tout en entrant tout naturellement dans la procédure liée à toute mesure. La rigueur est cependant de mise et elle s'imposera d'ailleurs très vite aux élèves dès lors qu'ils seront mis en situation.

Dans la cour de l'école, leur cyanomètre en main, quand et où les élèves doivent-ils regarder ? Le bleu du ciel change selon les jours et les lieux, mais aussi selon les heures et les directions d'observation. Alors, pour faire des mesures simultanées en différents lieux, quel moment de la journée choisir ? quelle direction (nord, sud…) ? quelle hauteur d'observation, et comment la repérer ? etc. Tous ces choix peuvent largement dépendre des objectifs recherchés, qu'il faudra alors préciser.

Le grand scientifique français François Arago (1786-1853), reprenant l'idée du cyanomètre, fit évoluer l'instrument : l'aspect de son cyanomètre est bien différent de celui d'Horace-Benedict de Saussure. Les plages de mesure des bleus y sont masquées au sein d'un lourd dispositif qui ressemble à une lunette de visée dont on peut mesurer l'inclinaison. Cela incite à penser qu'Arago intégra la mesure de l'angle d'observation à l'intérieur même de l'instrument. Là encore, cette évolution rejoint la proposition faite par certains élèves d'adjoindre un rapporteur d'angles à leur cyanomètre ! On note au passage que, comme précédemment, certaines réflexions et propositions d'élèves rejoignent les évolutions historiques.

### Connaître le contexte d'utilisation : une initiation à un protocole scientifique

La manière d'utiliser le cyanomètre pour une mesure isolée est une chose, le contexte d'utilisation historique en est une autre. C'est avec la définition d'un protocole que la mesure du bleu du ciel prend vraiment sens.

Le cyanomètre de 1787 avait été fabriqué par Horace-Benedict de Saussure en trois exemplaires. Ceux-ci devaient être utilisés simultanément par trois personnes, en haut du mont Blanc, à Chamonix et à Genève. La mesure qu'il fit lui-même au sommet constituait l'une des vingt-cinq « observations et expériences » qu'il y effectua et devait être associée aux autres mesures de l'air

(pression, température, teneur en vapeur d'eau, en gaz carbonique, charge électrique, attraction magnétique, mais aussi intensité lumineuse, transparence de l'air, couleur des ombres…).

Ces précisions permettent d'initier les élèves à la nécessité de mettre en relation des mesures isolées. Ils pourront à leur tour relever quotidiennement certaines données météorologiques : température, pression atmosphérique, degré hygrométrique, soit à l'aide des instruments usuels, soit à partir des bulletins météo des journaux. À l'aide de tableaux puis de graphiques, ils pourront tenter d'établir des corrélations sur une semaine ou plus. Par exemple, ils remarqueront peut-être que plus la température monte, plus le degré hygrométrique monte, tandis que la pression se comporte tout autrement. Cette activité pourra leur faire prendre conscience, à leur mesure bien sûr, que la météorologie est une science complexe qui met en relation de multiples grandeurs… et qu'il n'est pas si simple de prévoir le temps qu'il va faire !

## Repérer une couleur en se fiant à l'œil nu

### Une mesure directe

La plupart des instruments de mesure font appel à une mesure indirecte et exploitent un phénomène physique adapté à ce que l'on veut mesurer. Par exemple, le thermomètre est basé sur la variation de hauteur d'une fine colonne d'alcool coloré qui se dilate ou se contracte selon la température. Dans le cas du baromètre, on utilise les variations de volume d'une enceinte métallique plus ou moins comprimée selon la pression atmosphérique, le tout étant relié au mouvement d'une aiguille. Dans ces deux exemples, on repère quelque chose qui est invisible pour les yeux et la mesure est nécessairement indirecte. En fait, on mesure une dilatation, une augmentation de volume, etc., corrélées à une graduation étalonnée en conséquence. En outre, de plus en plus d'instruments de mesure reposent aujourd'hui sur un traitement électronique de données collectées par des capteurs : qu'on pense simplement aux thermomètres à lecture digitale.

Aborder le principe de la mesure directe avec le cyanomètre peut, on le voit, ouvrir une vaste mise en perspective de la problématique et mener très loin avec des élèves ayant déjà l'habitude de construire et d'utiliser d'autres instruments. Mais l'enseignant pourra choisir d'aborder avec eux ce sujet à différents niveaux.

### Un procédé toujours d'actualité

Des dispositifs de repérage de couleurs « à l'œil nu » existent encore aujourd'hui et sont utilisés par différents corps de métier. Ils se présentent comme le cyanomètre, seule la gamme de couleur change : dans les jaunes pour la cuisson des frites (chez les restaurateurs) ; dans les rouges pour la

teneur en hémoglobine (chez les médecins) ; dans les blancs crème pour le ton des dents (chez les dentistes). L'existence de toutes ces échelles nous a été signalée par des personnes tellement séduites par le cyanomètre qu'elles souhaitaient lui présenter ses « cousins » ! Elles affirment toutes que dans la pratique, l'œil reste un instrument très performant pour distinguer des nuances de couleur !

## Mesurer le bleu du ciel : à quoi ça sert ?

Même si la passion des élèves pour leur cyanomètre est grande, dire aux copains ou aux parents qu'on a fabriqué un instrument à mesurer le bleu du ciel peut paraître bien dérisoire. Pourtant, les arguments en faveur d'une telle mesure abondent et il sera intéressant que l'enseignant aborde dans la classe, au cours de la « séquence cyanomètre » ou avant de la clore, une discussion sur la question. La prise de distance par rapport au savoir est toujours très fructueuse pour les élèves et le contexte historique nous donne à ce propos des indications intéressantes.

D'abord, les habitants de Chamonix, ceux-là mêmes qui ont mené Horace-Benedict de Saussure au mont Blanc, étaient terrorisés par le bleu presque noir du ciel en altitude. Mettre un numéro sur cette couleur, la comparer à d'autres, la domestiquer, n'était-ce pas une manière de désamorcer la peur, de modifier sa relation au monde ? Ne pourrait-on pas aujourd'hui trouver des exemples analogues ? Une telle attitude permet de grandir, de passer du finalisme enfantin à une appropriation du monde.

Horace-Benedict de Saussure pensait que le bleu du ciel était dû aux « vapeurs opaques » de l'air. Comme elles diminuaient avec l'altitude, on aurait dû arriver, très haut, à un ciel parfaitement noir où les étoiles auraient brillé en plein jour. On sait en fait aujourd'hui que la couleur bleue du ciel est due à un phénomène optique de diffraction de la lumière blanche par l'air, qui fait que le rouge est absorbé et que seul le bleu arrive à nos yeux. On sait aussi que les astronautes voient depuis l'espace un ciel noir… Les préoccupations du savant du XVIIIe siècle ne paraissent donc pas si décalées !

Horace-Benedict de Saussure s'intéressait à un domaine qui, à l'époque, n'avait jamais été exploré. Des élèves du collège Saussure, à Genève, ont récemment joué une pièce de théâtre où ils l'imaginaient revenant parmi nous et partant avec enthousiasme explorer la planète Mars : la transposition était en effet bien pertinente !

Aujourd'hui, on continue à collecter quantité de données sur les caractéristiques de l'atmosphère en haute altitude. On pourrait imaginer un « cyanomètre » moderne. Quelle forme aurait-il ? Serait-il embarqué dans un ballon-sonde, équipé d'un capteur électronique de longueurs d'ondes lumineuses, relié à la Terre par ondes radio et transmettant ses mesures à nos ordinateurs ?

## Travailler sur le cyanomètre : une manière d'entrer dans une démarche scientifique

D'autres grandeurs mesurables se sont révélées plus intéressantes à l'usage, plus opérationnelles dans les équations mathématiques qui se sont imposées au XIXe siècle. Horace-Benedict de Saussure lui-même n'avait pas tiré de conclusion particulière de ses mesures, il souhaitait simplement les mettre au service de ceux qui voudraient ultérieurement les intégrer dans leurs propres recherches.

La science oublie souvent sa propre histoire et la mémoire de sa longue construction. Elle ne garde que les résultats « finis », ceux justement que les élèves devront assimiler dans un temps très court ! Or les chercheurs d'aujourd'hui, et même les plus brillants, continuent de tâtonner, d'essayer, de se poser de nouvelles questions : cette attitude fait intégralement partie de l'activité scientifique. Que les élèves qui construisent à l'école leur cyanomètre puissent alors prendre conscience qu'à leur tour et à leur mesure, ils ont eu une véritable démarche scientifique avec, nous l'espérons, le plaisir en plus. Tel est l'un des objectifs recherchés dans l'élaboration de l'instrument. Bonne route à tous !